

PENGENDALIAN ROBOT BERKAKI ENAM PENJEJAK DINDING MENGUNAKAN METODE KONTROL PROPORSIONAL DERIVATIF

Erwin Nashrullah^{*)}, Aris Triwiyatno, and Budi Setiyono

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: erwin.nashrullah@gmail.com

Abstrak

Sistem navigasi robot seperti menjejak dinding merupakan salah satu masalah penting pada sistem robot *mobile* terutama pada saat robot difungsikan pada lingkungan yang tidak dimodelkan. Algoritma menjejak dinding secara sederhana dapat digambarkan sebagai pengendalian pergerakan pada sistem navigasi 2-D terhadap nilai referensi. Tugas Akhir menyajikan suatu proses perancangan dan pembuatan robot *hexapod* beserta algoritma pengendaliannya. Pada robot *hexapod* ini digunakan sebuah sensor ultrasonik (PINGTM) sebagai masukan untuk mendeteksi jarak kanan dan jarak depan robot terhadap dinding. Mikrokontroler ATmega32 digunakan sebagai komponen pengendali dari sistem dan digunakan bahasa C sebagai bahasa pemrogramannya, 18 motor servo standar dan 1 buah servo mini digunakan sebagai penggerak dengan 3 buah servo dipasang pada tiap kakinya. Sebuah servo mini digunakan untuk memindahkan posisi dari sensor ultrasonik pada saat proses pemindaian jarak untuk mendapatkan nilai jarak kanan dan jarak depan. Metode kontrol proporsional dan derivatif digunakan untuk mengendalikan sinyal belok berdasarkan nilai kesalahan terhadap referensi yang dihasilkan. Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi sudut tikungan dan bentuk dinding pada proses menjejak dinding. Berdasarkan hasil pengujian, robot *hexapod* dengan pengendali proporsional dan derivatif dapat menjejak dinding dengan baik dengan sudut ketajaman antara 70° sampai dengan 210° dengan nilai parameter $K_p=4$, $K_d=4$ dan jarak kanan referensi yang diberikan sejauh 20 cm dari dinding kanan.

Kata kunci: hexapod, proporsional derivatif, sensor ultrasonik, ATmega32, motor servo

Abstract

Self-sufficiency in robotics motivates the need for continual improvement in autonomous navigation for mobile robots. Robot navigation such as wall following are from the most important problems in mobile robots, especially in unknown environments. Wall-following provides a simplification of 2-D navigation problems by providing a reference. The aim of this project is designing and constructing hexapod robot that can follow the wall using proportional derivative control with no map of the environment is used and walls are not modelled. This paper presents designing and constructing process of hexapod robot and its algorithm control process. This hexapod robot use a single ultrasonic sensor (PINGTM) as input which is used to detect right distance and front distance of the robot to the wall. ATmega32 microcontroller is used to control the process with the C language as a programming language, 18 standard servo motors and a single mini servo are used as actuators with 3 servo on each leg. A single mini servo is used to move the ultrasonic sensor positions when the scanning process to get right distance and front distance value. Proportional derivative is used to control the turn signal control based on the value of the resulting error. Reported experiments include testing process by giving variation of wall angles and shapes which will be follow by hexapod robot. Based on the experiment results, hexapod robot with proportional derivative control can tracks unexpected corners well ranging from 70° to 210° with the value of $K_p = 4$, $K_d = 4$ and setting point = 20 cm.

Keywords: hexapod, proportional derivative, ultrasonic sensor, ATmega32, servo motor

1. Pendahuluan

Pergerakan menjejak dinding pada dunia robotika diartikan pergerakan dari suatu robot bergerak sepanjang dinding dengan arah tertentu atau secara umum

merupakan pergerakan robot mengikuti suatu benda dengan batasan jarak yang telah ditetapkan^[6]. Algoritma menjejak dinding banyak digunakan pada sistem navigasi robot *mobile* dengan dilengkapi dengan sensor jarak seperti sensor ultrasonik, sensor *proximity*, sensor *infrared* dan lain-lain^[7]. Umumnya digunakan pula suatu

metode kontrol untuk memaksimalkan kerja robot saat menjejak dinding agar sesuai dengan referensi yang diberikan [8-9]. *Hexapod* adalah salah satu jenis robot berkaki dengan fleksibilitas dalam pengaturan sangat menarik untuk dikembangkan menjadi robot *autonomous* dengan tingkat kestabilan yang tinggi [1]. Pada Tugas Akhir ini, *platform hexapod* disajikan sebagai sistem yang dibangun menggunakan struktur *fiberglass* sederhana, dengan mikrokontroler ATmega32 digunakan untuk mengatur sembilan belas motor servo secara *real-time* agar dapat bergerak secara otomatis saat menjejak dinding dengan masukan berdasarkan data jarak yang terdeteksi oleh sensor ultrasonik. Metode kontrol yang diaplikasikan pada robot ini menggunakan metode proporsional derivatif.

2. Metode

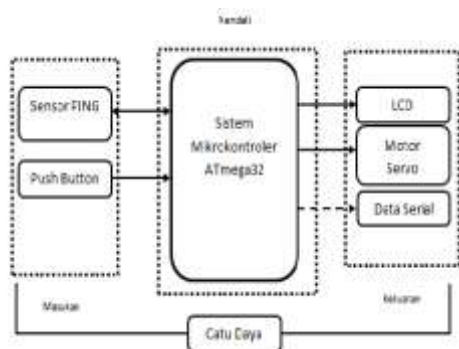
2.1 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Sistem dan alat diharapkan memiliki kerja maksimal ketika perancangan alat dilakukan sesuai prosedur. Secara fisik robot *hexapod* penjejak dinding ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Robot berkaki enam penjejak dinding

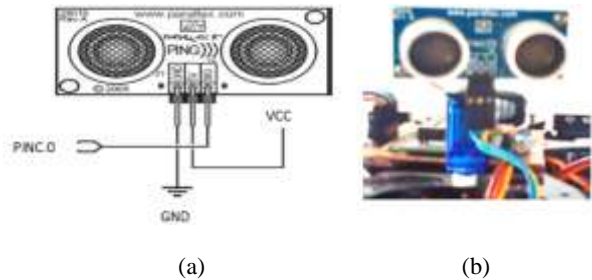
Dalam perancangan sistem robot berkaki ini terdapat bagian yang saling mendukung satu sama lain untuk membentuk rangkaian utama. Rangkaian utama terdiri dari tiga bagian, yaitu masukan, kendali, dan keluaran. Secara umum hubungan dari perancangan ketiga bagian penyusun perangkat keras yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram blok sistem perangkat keras secara keseluruhan

2.1.1 Sensor Ultrasonik

Pada Tugas Akhir ini sensor ultrasonik yang digunakan ini adalah sensor ultrasonik PING #28015. Konfigurasi pin sensor PING dengan mikrokontroler ditunjukkan pada Gambar 3a.



Gambar 3 (a). Konfigurasi pin sensor PING
(b). Peletakan sensor PING

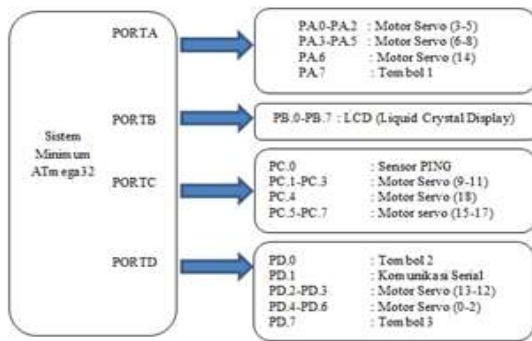
Sensor PING diletakkan terhubung secara mekanik dengan servo mini sehingga sensor dapat mendeteksi jarak lebih dari satu posisi seperti ditunjukkan pada Gambar 3b. Berdasarkan *datasheet*, modul PING))TM ini dapat digunakan untuk mengukur jarak benda sejauh 2 cm sampai 300 cm dengan kecepatan rambat gelombang ultrasonik di udara 1/29,034 cm/us. Pin SIG sensor ultrasonik akan memberikan logika 1 (*high*) ketika gelombang ultrasonik dipancarkan dan akan berubah menjadi 0 (*low*) saat terdeteksi adanya gelombang pantulan pada bagian *receiver* dari sensor. Lebar pulsa *high* (t_{in}) akan sesuai dengan lama waktu tempuh gelombang ultrasonik untuk dua kali jarak ukur dengan objek yang mempresentasikan jarak antara sensor PING dengan objek sehingga nilai jarak terukur dapat dihitung berdasarkan Persamaan 1.

$$\text{Jarak} = \left[\frac{t_{in} \text{US} \times \frac{1}{29.034} \text{cm/US}}{2} \right] \text{cm} \quad (1)$$

Pada Tugas Akhir ini kecepatan gelombang ultrasonik saat merambat di udara dibulatkan menjadi 1/29 cm/us.

2.1.2. Rangkaian Kendali Utama

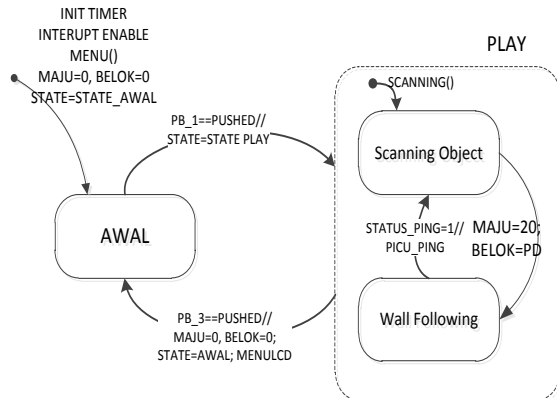
Rangkaian kendali ini merupakan rangkaian minimum sistem dari mikrokontroler ATmega32 yang terdapat rangkaian pembangkit osilator dengan Kristal 16 MHz dengan dua buah kapasitor 22 pF. Fitur dari mikrokontroler yang digunakan dalam pembuatan Tugas Akhir ini meliputi fungsi interupsi yang difungsikan untuk pengaturan pemanggilan proses dan fungsi *timer/counter* 1 yang difungsikan untuk membangkitkan sinyal PWM sebagai sinyal kontrol pada masing-masing servo. Alokasi *port* pada sistem minimum mikrokontroler ATmega32 ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Alokasi port pada sistem minimum mikrokontroler ATmega32

2.2. Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Skema FSM dalam pengontrolan robot *hexapod* penjajak dinding ditunjukkan pada Gambar 5.

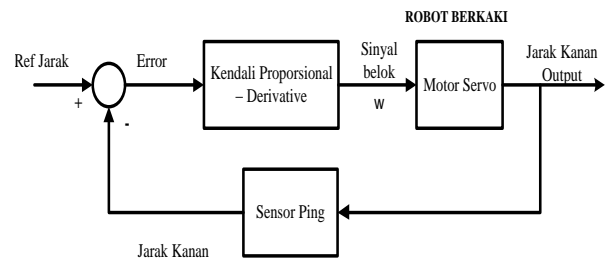


Gambar 5. Diagram Keadaan Sistem Robot Berkaki

Pada keadaan awal robot di inialisasi pada posisi *stand by* dan ditampilkan pilihan menu pada LCD. Penekanan tombol satu proses kerja robot akan menuju *state PLAY*. Pada keadaan ini, robot akan dilakukan proses *scanning object* untuk mendapatkan data jarak kanan dan depan dan proses *wall following* dengan sinyal kontrol belok didapatkan berdasarkan data jarak kanan yang diolah berdasarkan aturan PD.

2.1.2 Algoritma kontrol Proporsional Derivatif (PD)

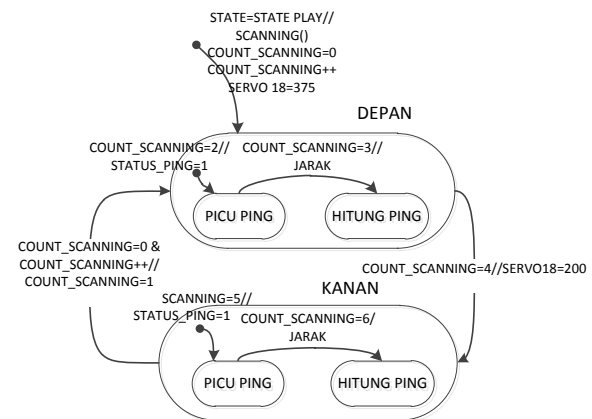
Robot berkaki pada Tugas Akhir ini difungsikan untuk menjejak dinding dengan menggunakan kendali PD. Masukan pengendali berupa data *error* jarak kanan dan perubahan *error* jarak kanan. Keluaran dari pengendali PD berupa sinyal kontrol belok yang mengatur posisi tiap servo sehingga robot dapat bergerak menuju nilai referensi jarak berdasarkan nilai *error* yang didapatkan. Diagram blok pengendalian secara umum dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram blok pengendalian PD

2.2.1 Scanning Object

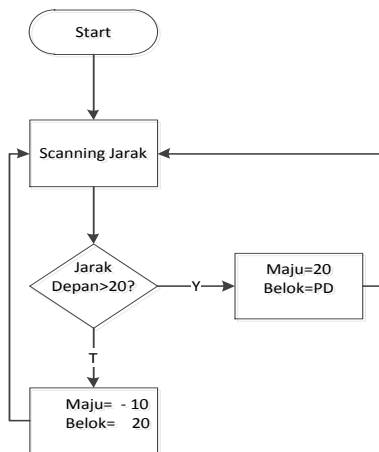
Perancangan *software* pada proses *scanning object* didasarkan pada kerja dari servo mini dan jarak yang terbaca dari sensor PING)))TM. Mikrokontroler mengaktifkan fungsi pencacah *timer 1* untuk mencacah variabel *CountScanning*. Diagram alir proses *scanning object* ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram alir proses kerja *scanning object*

2.1.3 Algoritma Wall Following

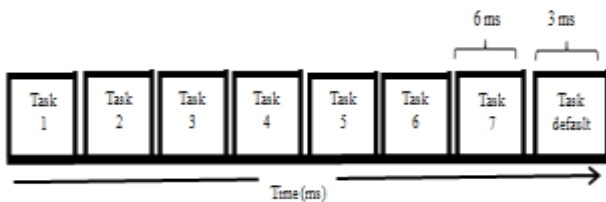
Data berupa jarak kanan diolah berdasarkan aturan PD menghasilkan sinyal kontrol belok yang digunakan untuk mengatur pergerakan robot agar jarak kanan robot sesuai dengan jarak kanan referensi yang ditetapkan. Robot akan menjejak dinding dengan kontrol sinyal maju (*v*) sebesar 20 dan sinyal belok (*w*) didapatkan dari keluaran pengendali PD. Jika jarak depan yang terbaca lebih kecil dari 20 cm maka sinyal kontrol secara otomatis berubah dengan pengaturan *v* yang diberikan sebesar -10 dan melakukan rotasi dengan nilai *w* sebesar 20 hingga jarak depan terdeteksi lebih besar dari 20 maka robot bergerak maju kembali dengan menstabilkan jarak kanan. Diagram alir algoritma *wall following* yang ditanamkan pada robot *hexapod* penjajak dinding ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram alir proses kerja menjejak dinding

2.1.4 Pengaturan Interupsi Timer 1

Untuk mendapatkan sistem pewaktuan yang sesuai tanpa membebani kinerja mikrokontroler digunakan fungsi *timer/counter* 1 mode CTC top=OCR1A. Nilai pembanding A pada register OCR1A yang dimasukkan pada pengaturan awal sebesar 750. *Clock source* yang digunakan sebesar 250.000 kHz sehingga lama waktu yang dibutuhkan untuk satu kali cacahan naik adalah 4 us. Proses interupsi *timer* 1 dibagi menjadi delapan *task* dengan lama pengerjaan selama 3 ms pada tiap *task* kecuali pada *task* 7 yang dikerjakan selama 6 ms seperti ditunjukkan Gambar 9.



Gambar 9. Sistem kerja dalam proses interrupt

Keterangan:

Task default: Timeslot=0, Port servo1=1

Task 1 : Port servo 2=1; Port servo 1=0

Task 2 : Port servo 3=1; Port servo 2=0

Task 3 : Port servo 4=1; Port servo 3=0

Task 4 : Port servo 5=1; Port servo 4=0

Task 5 : Port servo 6=1; Port servo 5=0

Task 6 : Port servo 7=1; Port servo 6=0;

Pemanggilan fungsi Hitung_ping()

Task 7 : Port_servo7A=0;

Anti wind up sinyal kontrol belok;

Kinematik(maju,belok);

Pemanggilan fungsi menu

Pengaturan kondisi sensor PING

Dengan dilakukan pemberian logika 1 pada tiap servo secara bergantian didapatkan lebar pulsa yang sama secara periodik untuk mengaktifkan motor servo.

3. Hasil dan Analisa

Pengujian sistem robot berkaki penjejak dinding dibagi menjadi tiga tahap, pengujian perangkat keras (*hardware*), pengujian perangkat lunak (*software*) dan pengujian keseluruhan (*hardware dan software*) yang merupakan tahap sinkronisasi.

3.1 Pengujian Perangkat Keras (Hardware)

3.1.1 Pengujian Sensor PING

Pengujian sensor PING dilakukan dengan cara meletakkan suatu benda dengan posisi berhadapan dengan sensor dengan berbagai variasi jarak. Kemudian dibandingkan jarak yang terbaca oleh sensor PING dengan hasil jarak dari pengukuran manual yang dilakukan menggunakan penggaris. Data hasil pengujian pembacaan jarak oleh sensor PING ditunjukkan Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian pengukuran jarak menggunakan PING™.

Jarak Pengukuran manual (cm)	Pengujian Pengukuran Jarak dengan Sensor PING					Rata-rata error (cm)
	P1	P2	P3	P4	P5	
10	11	11	11	11	11	1
20	21	21	21	21	21	1
30	31	31	31	31	31	1
40	41	41	41	41	41	1
50	51	51	51	51	51	1
60	61	61	61	61	61	1
70	71	71	71	71	71	1
Rata-rata error keseluruhan						1

Berdasarkan data hasil pengujian sensor PING, diketahui perbedaan jarak antara pembacaan oleh sensor dengan pengukuran manual dengan rata-rata kesalahan pembacaan jarak 1 cm. Hal ini disebabkan karena adanya pembulatan perhitungan pada program yang ditanamkan.

3.1.2 Pengujian Motor Servo

Pengujian dilakukan dengan memberikan lebar pulsa yang berbeda dan membandingkan sudut yang didapatkan berdasarkan proses perhitungan dengan proses pengukuran manual menggunakan busur derajat. Berdasarkan hasil pengujian diketahui untuk menggerakkan motor servo pada posisi 0° dibutuhkan lebar pulsa 0.5 ms dan posisi 180° dibutuhkan lebar pulsa 2.5 ms. Motor servo yang digunakan dikendalikan dengan

sistem diskret maka nilai 0.5 ms dan 2.5 ms ini ubah ke dalam bentuk integer menjadi 125 dan 625 berdasarkan jumlah cacahan yang dihitung oleh register TCNT1 selama 0,5 ms dan 2,5 ms. Lebar pulsa dan sudut lainnya didapatkan dengan menggunakan fungsi persamaan linier sehingga didapatkan persamaan 2.

$$x = 90y - 45 \tag{2}$$

dengan : x = sudut
 y = lebar pulsa

Data pengujian motor servo ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data pengujian motor servo.

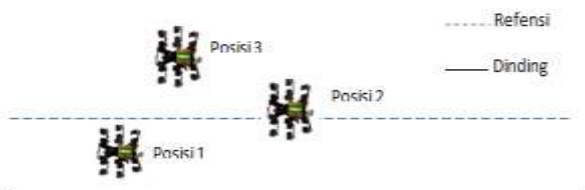
Perhitungan sudut (°)	Lebar Pulsa (ms)	nilai servo (integer)	Pengukuran sudut manual (°)					Rata-rata error (°)
			P1	P2	P3	P4	P5	
0	0,5	125	3	3	3	3	3	3
9	0,6	150	12	12	12	12	12	3
27	0,8	200	30	30	30	30	30	3
45	1	250	48	48	48	48	48	3
90	1,5	375	93	93	93	93	93	3
135	2	500	13	13	13	13	13	3
180	2.5	625	18	18	18	18	18	3
Rata-rata error keseluruhan								3

Berdasarkan data hasil pengujian Tabel 2, terdapat perbedaan antara sudut yang dibentuk motor servo dengan memberikan nilai integer pada program dengan hasil pengukuran sudut berdasarkan pengamatan secara visual menggunakan busur derajat sebesar 3°.

3.2. Pengujian Perangkat Lunak (Software)

3.2.1. Pengujian PD

Pengujian algoritma PD dilakukan untuk mengetahui apakah kontroler PD menempatkan robot pada tiga posisi berbeda. Posisi pertama robot ditempatkan dekat dengan dinding dibawah jarak referensi, posisi kedua robot ditempatkan pada jarak referensi dan posisi ketiga robot ditempatkan jauh dari jarak referensi seperti yang ditunjukkan Gambar 10.



Gambar 10. Pengujian algoritma PD

Bagian bawah robot diberikan penyangga sehingga kaki dari robot tidak menyentuh tanah dan posisi robot saat diaktifkan perintah *wall following* tidak berubah. Pada percobaan ini *setting* nilai $K_p=2$ dan nilai $K_d=1$ dengan *setting point* jarak 20 cm. Pengujian dilakukan untuk mengetahui respon keluaran dengan memberikan variasi referensi jarak. Dengan menggunakan rumus kendali PD :

$$\text{Sinyal Kontrol} = (K_p * \text{Error}) + K_d * \text{error_diferensial} \tag{3}$$

Dikarenakan posisi robot yang tidak berubah maka *error_diferensial* bernilai 0. Sehingga persamaan sinyal kontrol menjadi:

$$\text{Sinyal Kontrol} = (K_p * \text{Error}) \tag{4}$$

Hasil perhitungan sinyal kontrol berupa nilai sinyal belok (w) ditampilkan pada LCD dan dikirim serial menuju komputer. Nilai sinyal belok digunakan untuk menentukan arah robot pergerakan robot menuju nilai jarak referensi pada saat menjejak dinding. Tabel 3 menunjukkan data hasil pengujian algoritma PD terhadap perubahan posisi robot terhadap *setting point* yang diberikan.

Tabel 3. Hasil pengujian algoritma PD.

Jarak Referensi	Posisi Robot	Jarak Terukur	Error Jarak	Sinyal Kontrol	Keterangan Gerakan
20	1	15	5	10	Rotasi kiri
20	2	20	0	0	Lurus
20	3	40	-20	-40	Rotasi kanan
25	1	14	11	22	Rotasi Kiri
25	2	25	0	0	Lurus
25	3	50	-25	-40	Rotasi kanan
30	1	13	17	34	Rotasi kiri
30	2	30	0	0	Lurus
30	3	45	-15	-30	Rotasi kanan
40	1	15	25	40	Rotasi kiri
40	2	40	0	0	Lurus
40	3	60	-20	-40	Rotasi kanan

Berdasarkan data hasil pengujian Tabel 3, diketahui algoritma berjalan dengan baik dan bekerja efektif dalam mengendalikan posisi robot terhadap referensi. Sinyal kontrol belok pada sistem robot *hexapod* ini dibatasi antara -40 dan 40. Pada saat sinyal belok bernilai positif maka arah robot akan bergerak ke kiri dan saat sinyal belok bernilai negatif robot bergerak ke kanan.

3.2.2. Pengujian parameter K_p

Pengujian dilakukan dengan memberikan nilai K_p bervariasi. Pengujian dilakukan dengan memberi masukan

nilai Kp sebesar 1, 2, 4, dan 8. Pengambilan data dilakukan setiap 1,89 detik. Data hasil pengujian parameter Kp ditunjukkan Tabel 4.

Tabel 4. Data pengujian parameter KP.

Parameter KP	Tr (detik)	Ts (detik)	Rata-rata Error (cm)
1	14,36	35,91	5,98
2	7,56	39,69	2,72
4	5,29	20,79	2,26
8	8,82	-	6,33

Dengan :

Tr=waktu mencapai referensi jarak kanan

Ts= waktu keadaan stabil sekitar titik referensi kanan

Berdasarkan hasil pengujian diketahui robot dapat menjejak dinding dengan baik pada saat Kp bernilai 4 dan 2 dengan masing-masing error yang dihasilkan rata-rata sebesar 2,26 cm dan 2,72 cm.

3.2.3 Pengujian nilai parameter Kp dan Kd

Pengujian dilakukan dengan memberikan nilai parameter Kp dan Kd untuk mendapatkan hasil kerja yang maksimal. Nilai Kp yang digunakan adalah 4 berdasarkan pengujian sebelumnya dengan pemberian nilai parameter Kp=4 memberikan nilai error minimal dan nilai parameter Kd yang diuji sebesar 0.5, 1, 2, 4 dan 8 dengan jarak referensi kanan ditetapkan pada jarak 20 cm. Data hasil pengujian parameter Kp dan Kd ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Data pengujian parameter KP dan KD.

KP	KD	Tr (detik)	Ts (detik)	Rata-rata Error (cm)
4	0,5	6,14	20,79	2,30
4	1	5,67	26,46	2,09
4	2	6,30	18,9	1,72
4	4	7,56	11,34	1,44
4	8	10,58	43,47	3,70

Berdasarkan hasil pengujian penambahan parameter Kd pada sistem robot penjejak dinding mengurangi efek osilasi pada awal proses mencapai referensi dan mempercepat sistem berada pada keadaan stabil. Setelah mencapai keadaan stabil dengan selisih error yang dihasilkan tidak terlalu signifikan maka efek dari kontroler derivatif tidak terlalu berpengaruh. Pada pengujian parameter Kp dan Kd menghasilkan kinerja terbaik pada saat nilai parameter Kp=4 dan Kd=4 berdasarkan nilai rata-rata error yang dihasilkan sebesar 1,44 cm.

3.2.4 Pengujian menjejak dinding dengan variasi sudut ketajaman tikungan

Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi sudut ketajaman tikungan pada dinding. Tabel 6 menunjukkan data hasil pengujian tingkat keberhasilan robot dalam menjejak dinding dengan variasi sudut tikungan.

Tabel 6. Data hasil pengujian pengujian menjejak dinding dengan variasi sudut.

Parameter KP	KD	Sudut Ketajaman Tikungan							
		< 70°	70°	90°	130°	150°	180°	210°	> 210°
2	0.5	X	√	√	√	√	√	√	X
2	2	x	√	√	√	√	√	√	X
2	4	x	√	√	√	√	√	√	X
4	0.5	x	√	√	√	√	√	√	X
4	2	x	√	√	√	√	√	√	X
4	4	x	√	√	√	√	√	√	X

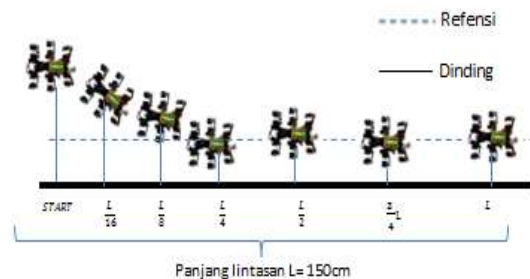
Dari hasil pengujian diketahui robot dapat menjejak dinding dengan sudut ketajaman tikungan minimal sebesar 70° dan maksimal 210°.

3.2.5 Pengujian Sistem Kerja Robot

Pengujian sistem kerja robot dilakukan dengan memberikan variasi bentuk dinding dengan sudut ketajaman yang berbeda-beda. Pada pengujian ini nilai parameter Kp yang diberikan sebesar 4 dan parameter Kd pada nilai 4 dengan nilai jarak referensi yang diberikan sebesar 20 cm dari dinding.

3.2.5.1 Pengujian Pada Dinding Lurus

Pada pengujian dengan dinding lurus robot diletakkan jauh dari referensi seperti yang ditunjukkan Gambar 11.



Gambar 11. Pengujian pada dinding lurus

Robot bergerak maju ke arah kanan hingga mencapai jarak referensi yang ditentukan. Pada pengujian ini robot berhasil menjejak dinding dengan baik sesuai dengan referensi yang diberikan. Posisi awal jarak kanan

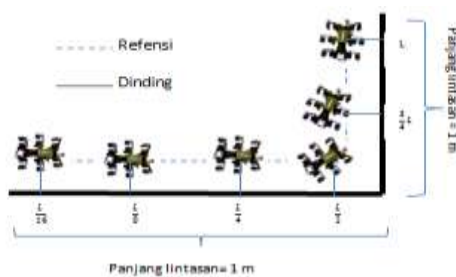
terdeteksi sensor pada robot terhadap dinding sebesar 30 cm. Panjang lintasan yang digunakan pada pengujian sejauh 150 cm. Data pengujian pergerakan robot menjejak dinding dengan bentuk lurus (180°) ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Data pengujian pergerakan robot pada dinding lurus

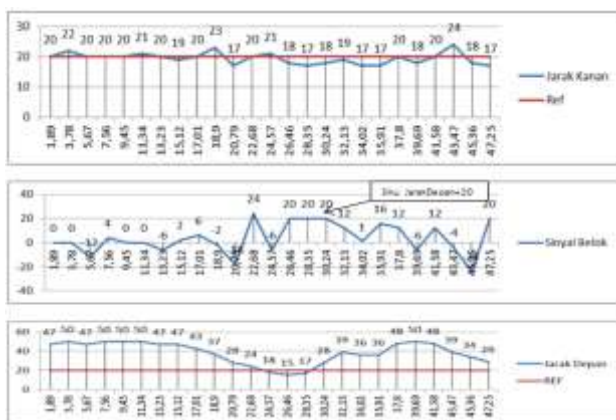
3.2.5.2 Pengujian Pada Dinding Siku

Pengujian dinding bentuk siku (90°) dilakukan dengan meletakkan robot pada jarak referensi seperti terlihat pada Gambar 13. Panjang lintasan yang ditempuh sejauh 2 m terdiri dari dua lintasan dengan masing-masing lintasan sepanjang 1 m.



Gambar 13. Pengujian pada dinding siku

Data hasil pengujian menjejak dinding dengan bentuk siku ditampilkan pada Gambar 14.

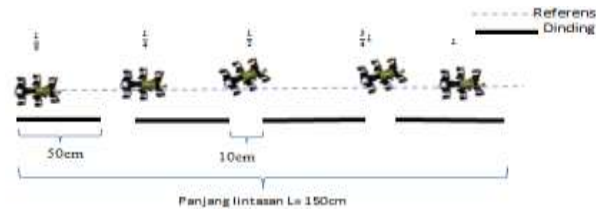


Gambar 14. Data pengujian dinding siku

Sinyal belok akan bernilai 20 (rotasi kiri) selama jarak depan kurang dari 20 cm dan kembali menjejak dinding dengan mempertahankan jarak kanan setelah jarak depan lebih atau sama dengan 20 cm.

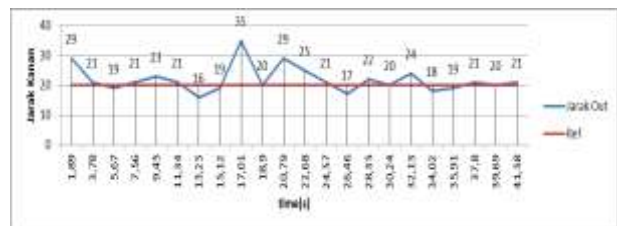
3.2.5.3 Pengujian Pada Dinding Putus-Putus

Pengujian dilakukan dengan memberikan bentuk dinding putus-putus seperti ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Pengujian pada dinding putus-putus

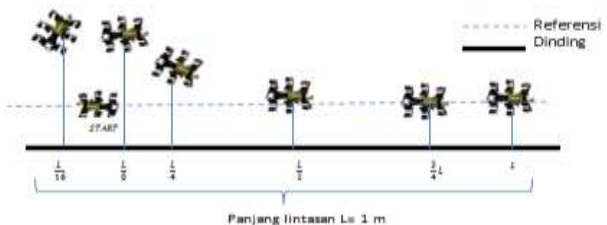
Data hasil pengujian pada dinding siku ditampilkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Data pengujian pergerakan robot pada dinding putus-putus

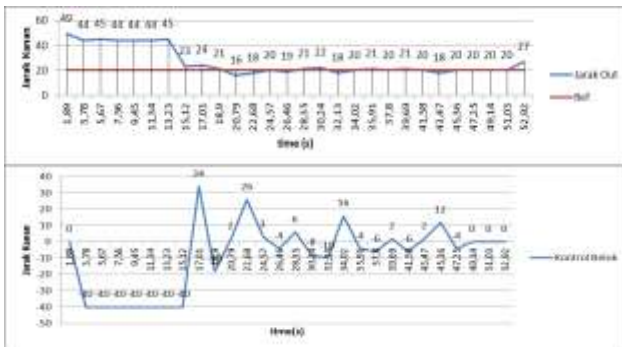
3.2.5.4 Pengujian Dinding Berlawanan Arah Dengan Sensor

Pada pengujian ini robot ditempatkan dengan posisi sensor berlawanan dengan arah dinding seperti ditunjukkan Gambar 17.



Gambar 17. Pengujian pada dinding berlawanan arah dengan sensor

Data hasil pengujian robot dalam menjejak dinding dengan posisi awal letak arah deteksi sensor pada robot berlawanan arah dengan dinding ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 18. Data pengujian pada dinding berlawanan arah dengan sensor

4. Kesimpulan

Setelah dilakukan perancangan, pembuatan dan pengujian pada Tugas Akhir robot *hexapod* penjejak dinding dengan menggunakan kendali PD diketahui robot dapat menjejak dinding dengan baik dengan nilai $K_p=4$ dan $K_d=4$ dengan rentang sudut ketajaman tikungan antara 70° sampai dengan 210° . Nilai *error* yang dihasilkan saat pengujian dinding lurus sebesar 1,44 cm. Pemberian nilai K_p lebih dari 8 dapat menyebabkan sistem robot berosilasi dan sulit untuk mempertahankan posisinya terhadap referensi. Kontroler diferensial berpengaruh untuk memperbaiki respon sistem dengan mengurangi osilasi yang dihasilkan akibat deteksi sensor pada perubahan jarak yang terlalu besar pada satu waktu. Untuk pengembangan terhadap fungsi aplikatif dapat dilakukan penambahan sensor seperti sensor kompas, api ataupun warna. Dapat juga dikembangkan dengan menggunakan metode kontrol lain seperti jaringan syaraf tiruan, fuzzy atau kontrol adaptif.

Referensi

- [1]. G. Jianhua, *Design and Kinematic Simulation for Six-DOF LegMechanism of Hexapod Robot*, in Proc. of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, Kunming, China, pp. 8-16.
- [2]. M.R. Fielding, R. Dunlop, and C.J. Damaren, *Hamlet: force/position controlled hexapod walker - design and systems*, IEEE Conference on Control Applications - Proceedings, pp. 984-989, 2001.
- [3]. John J. Craig, *Introduction to Robotics - Mechanics and Control* Pearson. Prentice Hall, 2005, ch. 5.
- [4]. D. Voth, *Nature's guide to robot design*, IEEE Intelligent Systems, vol. 17, no. 6, pp. 4-7, 2002.
- [5]. Xilun Ding, Zhiying Wang, Alberto Rovetta and J.M. Zhu. *Locomotion analysis of hexapod robot*, page: 291-306. Beihang University, Politecnico di Milano, China, Italy
- [6]. Max Katsev, Anna Yershova, Benjamin Tovar, Robert Ghrist, Steven M. *Mapping and Pursuit-Evasion Strategies For a Simple Wall-Following Robot*. [J]. IEEE Transactions on robotics, pp.113-128, 2011.
- [7]. Farooq U, Khalid A, Amar M, Habiba A, Shafique S, Noor R. *Design and low cost implementation of a fuzzy logic controller for wall following behavior of a mobile robot*.

- 2010 2nd International Conference on Signal Processing Systems, pp.740 -746.
- [8]. Yata Teruko, Kleeman Lindsay, Yuta Shin'ichi. *Wall Following Using Angle Information Measured by A Single Ultrasonic Transducer*, Proc. of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation Leuven, Belgium, May 1998.
- [9]. Braunstingl, Reinhard, Sanz, Pedro – J.M Ezkerra, *Fuzzy Logic Wall Following of a Mobile Robot Based on the Concept of General Perception*, International Conference On Advanced Robotics, Sant Feliu De Guixols, Spain, Pp.367-376, Sept., 1995
- [10]. Rabbo, Saber Abd, *Desain, Implementation and Control of Walking Robot via PIC Microcontroller*, Mechanical Design and Prod. Department Shoubra Faculty of Engineering Benha University, 2008.
- [11]. Xiao, John, *Kinematics of Robot Manipulator*, City College of New York, <http://www-ee.cuny.cuny.edu/www/web/jxiao/kinematics.pdf>
- [12]. Setiawan, Iwan, *Kontrol PID untuk Proses Industri*, Elex Media Komputindo, Jakarta, 2008.
- [13]. Bejo, Agus, *C&AVR Rahasia Kemudahan Bahasa C dalam Mikrokontroler ATmega8535*. Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta 2008.
- [14]. Wardhana L, *Belajar Sendiri Mikrokontroler AVR Seri ATmega8535 Simulasi, Hardware, dan Aplikasi*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2006.
- [15]. Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1-2*, Diterjemahkan Oleh Ir. Edi Leksono, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1996.
- [16]. Pitowarno, Endra, *ROBOTIKA: Desain, Kontrol, dan Kecerdasan Buatan*, Penerbit C.V ANDI OFFSET, Yogyakarta, 2006.